Modulo 5-COMBUSTIBLES Y SUS RELACIONES

AHORROS AL ELEGIR EL TIPO DE COMBUSTIBLE en relación al quemador elegido.

En este caso es muy importante tener en cuenta todos los parámetros y no solamente el costo del combustible por unidad de volumen o peso, ya que habrá muchos factores que harán que el mismo sea el económicamente adecuado.

En los combustibles líquidos, que se pagan por volumen (litro), debemos de considerar que el Poder Calorífico por lo general se dá por peso (kilo), lo cual si comparamos sus diferentes poderes caloríficos por litro, veremos con sorpresa, que el Fuel Oíl pesado es el que tiene más calorías por litro (por su alta densidad).

COMPARACION DE PODER CALORIFICO SUPERIOR

Combustible	Peso por litro	Por litro PCS	Por Kilo PCS
Nafta	0,730	8.240 Kcal/L	11.200 Kcal/kg
Kerosene	0,800	8.900 Kcal/L	11.070 Kcal/kg
Gasoil	0,846	9.221 Kcal/L	10.900 Kcal/kg
Diesel Oil	0,883	9.386 Kcal/L	10.630 Kcal/kg
Fuel oíl Calef.	0,923	9.987 Kcal/L	10.820 Kcal/kg
Fuel oíl pesado	+0,965	10.113 Kcal/L	10.480 Kcal/kg

Kcal/Litro= Kcal/kg x Peso por litro

Sustituir 1 Litro de F.Oíl por 1 Litro de Gasoil no es un buen negocio.

Es muy importante tener en cuenta las “equivalencias” entre los combustibles, lo que nos permite poder evaluar la conveniencia de costos en su capacidad de entregar “energía” (calor en forma de vapor o agua caliente, especialmente en nuestro caso: “la generación y el uso eficiente del vapor”).

Estas equivalencias las podremos expresar en la comparación entre los combustibles (cuanto de una unidad de un combustible es sustituida por otro combustible expresado en la unidad comercial de su venta, o cuanto es capas por esa unidad comercial de generar en Kg. de vapor saturado a la presión más común utilizada, unos 10 Kg/cm2, y con temperaturas del agua de alimentación comunes, como entre 60ºC a 80ºC), partiendo de calderas de recuperación normal, no más de 240ºC a 260ºC en los gases de chimenea.

EQUIVALENCIAS ENTRE COMBUSTIBLES

1 litro de Fuel Oíl.....1,1 m3. gas natural.

1 litro de Fuel Oíl.....3 a 3,5 Kg. leña 25% H. b. h.
5,5 kg. leña Verde

1 litro de Fuel Oíl .....3,3 a 3,6 Kg. cáscara arroz con 10%H.b.h.

1 litro de Fuel Oíl .....12,5 a 13.5 Kg. de vapor a 10Kg./cm2

1 Kg. de leña 25%H.b.h.....4 a 4,6 Kg. de vapor a 10Kg./cm2

1 m3. gas natural.....11,5 a 13 kg. de vapor a 10Kg./cm2

1 Kg. de cascara de arroz 10%H.b.h. 3,6 a 4,2 Kg. de vapor a 10Kg./cm2

Veremos que los gases (natural) **se manejan por m3. de gas “estándar”, que en nuestro caso es 1 m3. de gas a la presión atmosférica “estándar”** (760 mm mercurio, 1,033 kg/cm2 o sea 101,325 Kpa) **y un temperatura a 15°C** (59ºF en USA), **por eso debemos de ser cuidadosos de saber si nuestro consumo está corregido a estos valores, ya que hay medidores de gas que corrigen la presión y la temperatura automáticamente** (ya que según sean las condiciones del medio ambiente de la ubicación del medidor y de la regulación de la presión del gas en la cañería, los valores si no se corrigen serán diferentes, ya que los gases a medida que sube la presión y la temperatura, aumentan su volumen y a la inversa, lo bajan, lo que puede que a lo largo del año se pueda hacer un promedio más certero de la medición, pero que la medida “instantánea” o diaria pueda ser muy errática para un cálculo). **Debemos exigir la corrección automática cuando los consumos sean de cierta envergadura, de lo contrario corremos riesgos de pagar más por algo que no recibimos** (o de pagar menos, pero esto no lo creo que lo haga el proveedor). **Los gases comprimidos que se licuan, se miden por Kg.** (gas de garrafa).

PODERES CALORIFICOS DE LOS GASES

Cuanto más liviano es el gas respecto al aire, más elevado es su P.C. por Kg., pero menor Litro (dm3.)

			densidad		
		Peso molecula	Kg/m3	P.C.S. Kcal/k	P.C.I. Kcal/kg
METANO	CH4	16.041	0.6796K/m3	13,266.46	11,955.87
ETANO	C2H6	30.067	1.2860K/m3	12,400.32	11,351.41
PROPANO	C3H8	44	1.9156K/m3	12,034.20	11,080.29
NBUTANO	C4H10 N	58.118	2.5339K/m3	11,838.09	10,933.62
ISOBUTANO	C4H10 I	58.118	2.5339K/m3	11,809.75	10,905.28
PENTANO ISO	C5H12 N	72.144	3.0496K/m3	11,717.53	10,843.06
PENTANO N	C5H12 I	72.144	3.0496K/m3	11,695.86	10,821.39
N HEXANO	C6H14	86.169	3.6423K/m3	11,633.64	10,779.72
ANHI.CARBON	CO2	44.01	1.8740K/m3	0.00	0.00
NITROGENO	N2	28.016	1.1915K/m3	0.00	0.00

Algunos gases se pagan por m3. estándar (15ºC y una atmósfera de presión=1,033 Kg/cm2), como los gases que no se pueden "licuar" (hacerlos líquidos por presión) en garrafas. Como el gas natural.

Una de la cosas importantes en primera fase son las calorías disponibles en referencia al costo, pero cuidado, no todas las calorías disponibles serán siempre aprovechadas.

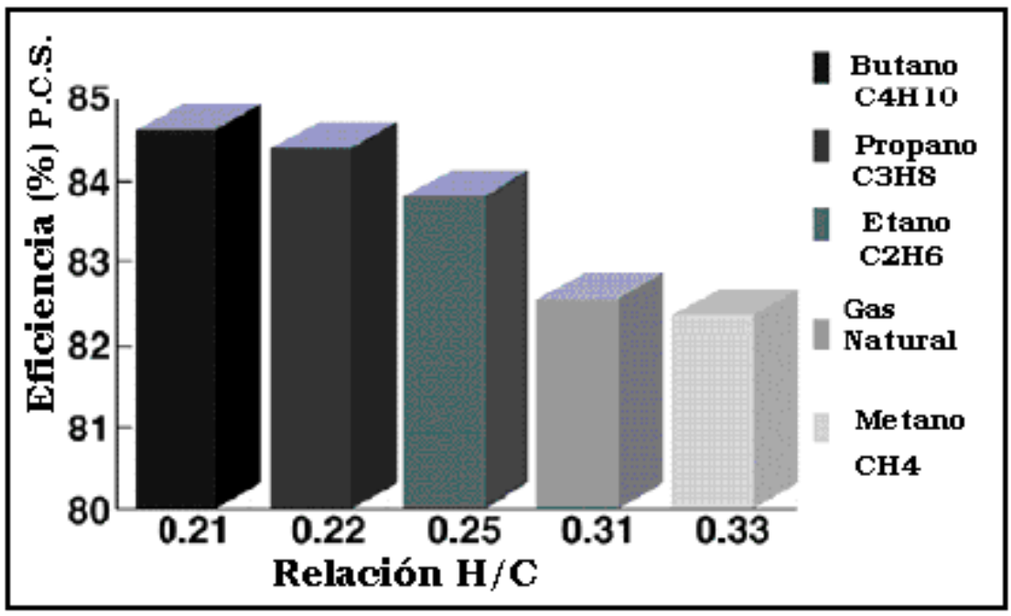
Generalmente el calor disponible se refiere al PODER CALORÍFICO INFERIOR (P.C.I.) **o SUPERIOR** (P.C.S.).

Hay una pérdida por chimenea de acuerdo al tipo de combustible en cada caldera, en cada tipo de quemador y su forma de operar, esta se refiere a la **Eficiencia de Combustión y Transferencia.**

Pero este valor no solo será relativo al diseño de la caldera y el combustible, sino al tipo de quemador (exceso de aire, hollín, etc) y forma de operar (modulación continua, a pasos, prende y apaga o sea ON-OFF).

Según sea el combustible habrá un tipo de quemador o forma de combustión más adecuado.

Modulo 5-COMBUSTIBLES Y SUS RELACIONES



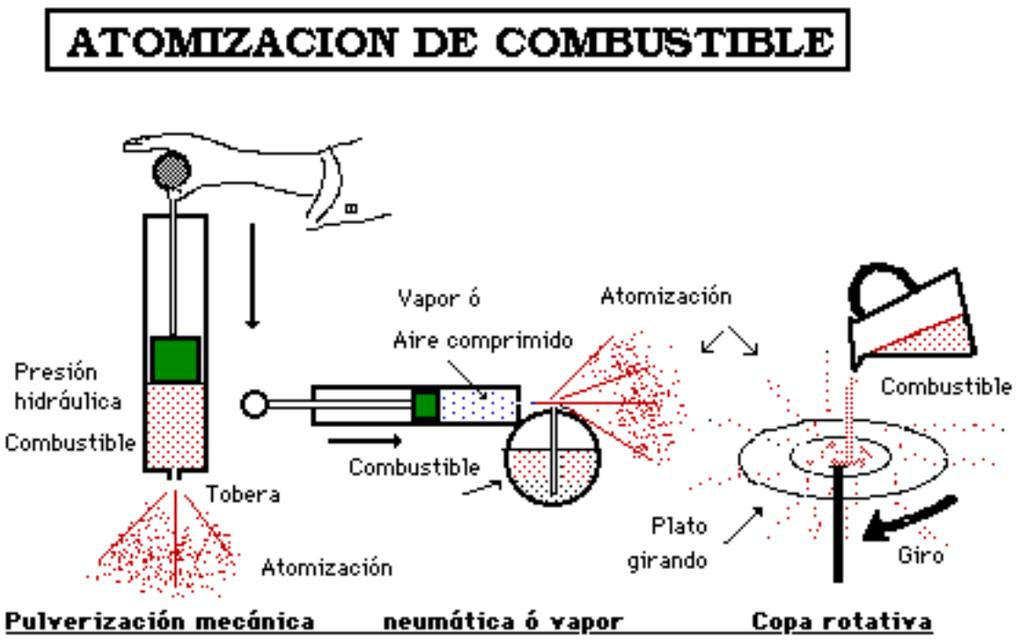
La Eficiencia de combustión y transferencia, está sujeta a la luminosidad y forma de la llama. A más contenido de carbono, más luminos y corta la llama, mejora la Eficiencia por la transmisión de calor y la hubicación de la llama. Más transferencia radiante, más superficie para transmitir al correrse la térmicas.

El manejo de los combustibles en la combustión, o sea sus “quemadores”, hace que las calorías disponibles para su intercambio, en una misma caldera, sean de mayor o menor aprovechamiento, veremos lo que ocurre con el Fuel Oíl pesado. De todas maneras lo que decimos respecto al Fuel Oíl, debemos de aplicarlo adecuadamente a los otros combustibles en general, sean líquidos, gaseosos o celulósicos.

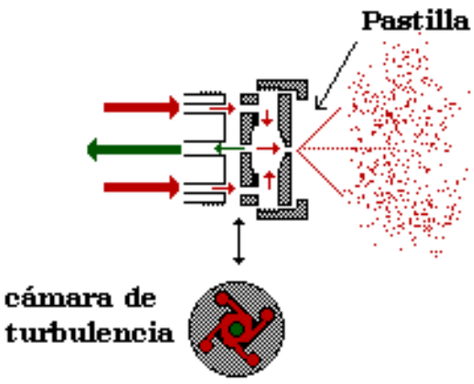
En el F.Oíl tenemos que considerar que la **combustión modulada continua como la más económicamente EFICIENTE, manteniendo una buena atomización y fundamentalmente una relación aire/combustible** (exceso de aire) **los más baja posible sin presencia de CO o gases sin quemar**.

Es prácticamente demostrable que si el quemador se ajusta en forma continua a mantener le presión de vapor constante al variar la carga de la caldera, el consumo puede llegar en algunos casos a ser un 15% más EFICIENTE (o sea menor consumo de combustible) que un quemador que prende y apaga (ON-OFF). Cuando un quemador prende y apaga entre dos presiones en forma ON-OFF, en el momento que apaga, hay **filtraciones de aire** que no intervienen en la combustión y que entrando a temperatura ambiente, se calientan a la temperatura de la caldera y salen por la chimenea, robándonos un calor que se pierde. Si la llama no tiene distintas potencias de llama (quemador de más de una llama), la

pérdida es mayor, dado que el quemador “arranca” con toda su “potencia”, provocando una llama de mala combustión en los primeros segundos (se pierde calor por gases sin quemar y se produce más hollín), **es en este caso de quemador la pérdida puede ser mayor** (dependiendo de las veces que la caldera prenda y apague en el tiempo). **A medida que aumentan las “llamas”** (tiene más de una tobera de atomización y cada tobera tiene un presóstato de comando o un termostato en agua caliente), **el quemador pierde menos por las razones anteriores, ya que se apaga menos veces en el tiempo** (o no llega a apagarse y se asimila a un quemador de modulación continua).



En los combustible líquidos, los quemadores de modulación continua de una sola llama modulante, es un problema que se ha resuelto en parte, ya que las condiciones del caudal de combustible al variar y el aire deben mantener su relación, pero con una buena atomización del combustible. Este problema de buena atomización está resuelto en algunos de los sistemas de atomización hasta determinadas relaciones de potencia de los quemadores (es decir entre la relación de la llama más alta a la llama más baja quemando adecuadamente). Los de atomización a vapor lo resuelven dentro de una relación de potencia limitada (como de 1 a 6 o más), los de atomización mecánica con sistema de retorno interno (casi igual a los de atomización a vapor) y los de copa rotativa (casi igual a los de atomización a vapor, de 1 a 6 o más) también pueden mantener una buena relación de potencia, **no así los de atomización mecánica del tipo común** (en este caso cada “pastilla” o “tobera” es para un caudal fijo,ya que el punto de atomización ideal es para la presión indicada, saliendo de esta presión la atomización no es adecuada y ademas**, tenemos el problema que el caudal varía en relación a la raíz cuadrada** ($\sqrt{P1}/\sqrt{P2}$) **de la presión del combustible, pero además tenemos el problema que a bajas presiones la atomización es mala debido a la falta de velocidad tangencial en la cámara de torsión**.



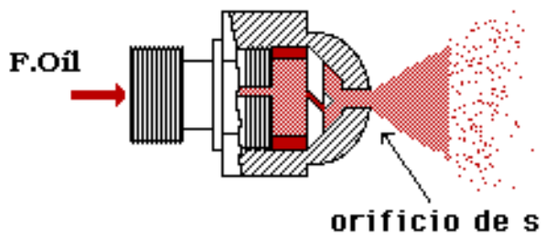
ATOMIZACION MECANICA CON REGULACION POR RETORNO DE COMBUSTIBLE

Presión de combustible (20 a 30 kgr/cm2)

Presión de retorno variable (5 a 15 Kgr/cm2)

F.Oíl calefacción 120ºC F.Oíl pesado 135ºC

QUEMADORES : MAT KLÖECKNER

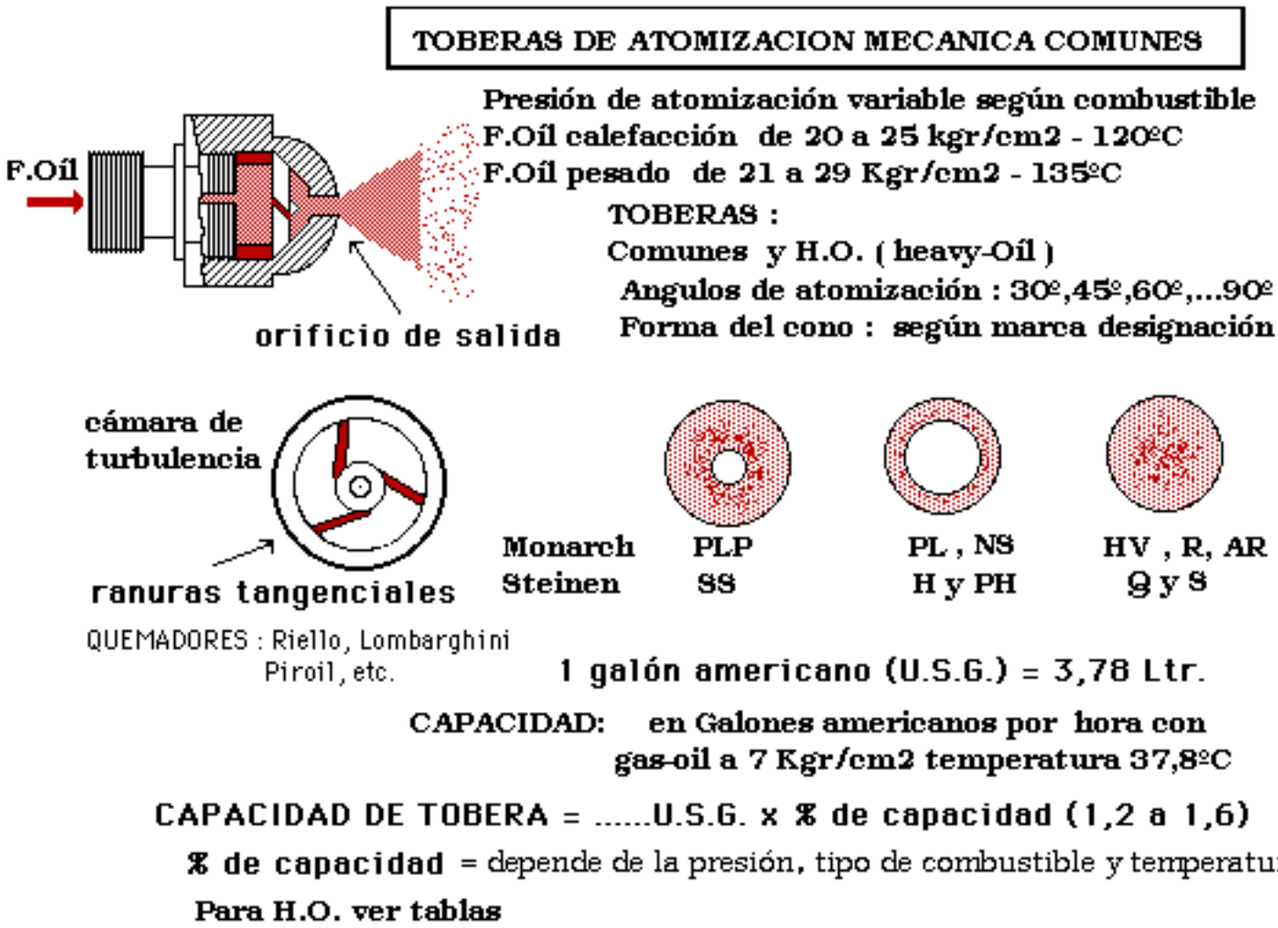


TOBERAS DE ATOMIZACION MECANICA COMUNES

Presión de atomización variable según combustible
F.Oíl calefacción de 20 a 25 kgr/cm2 - 120ºC
F.Oíl pesado de 21 a 29 Kgr/cm2 - 135ºC

TOBERAS :
Comunes y H.O. (heavy-Oíl)
Angulos de atomización : 30º,45º,60º,...90º
Forma del cono : según marca designación

Pero debemos de considerar el funcionamiento del quemador en el tiempo y en el rango de carga, es decir, que la combustión se mantenga por el tiempo y en todo el rango de carga de la caldera en adecuadas condiciones de **exceso de aire al mínimo y calidad de combustión** (especialmente **el hollín, elemento sumamente aislante** que produce las más importantes pérdidas, ya que un quemador formando hollín aisla las superficies de transferencia de la caldera en pocas horas de marcha, siendo esta pérdida mucho más importante que el valor energético del hollín mismo- como combustible sin quemar-, siendo además un elemento muy contaminante de la zona). Hay **dos tipos de hollín**, el **micro-hollín**, generalmente producto de una mala combustión (generalmente por una falta de mezcla del combustible atomizado y el aire de combustión) y **el hollín en forma de partículas mayores**, muy poco observables en la salida de la chimenea, pero que producen pequeños “copos” de hollín en la zona de la caldera (que queda depositado sobre los techos o pisos), generalmente se produce por el enfriamiento de la combustión de los combustibles líquidos de difícil combustión, al tocar las superficies frías de la caldera (depende de la calidad del combustible, especialmente en F.Oíl, debido a su composición, producto del origen de extracción y método de obtención en la refinería, generalmente son altos en asfaltenos). **Este hollín difícilmente se puede evaluar con la “bomba de hollín BACHARACH”, ya que son partículas grandes y es muy difícil que en un volumen de 1,8 ltrs. que toma la bomba pueda ir un “copo”**.


TOBERAS DE ATOMIZACION MECANICA COMUNES
Presión de atomización variable según combustible
F.Oíl calefacción de 20 a 25 kgr/cm2 - 120ºC
F.Oíl pesado de 21 a 29 Kgr/cm2 - 135ºC
TOBERAS :
Comunes y H.O. (heavy-Oíl)
Angulos de atomización : 30º,45º,60º,...90º
Forma del cono : según marca designación
F.Oíl
orificio de salida
cámara de turbulencia
ranuras tangenciales
Monarch
Steinen
PLP
SS
PL , NS
H y PH
HV , R, AR
Q y S
QUEMADORES : Riello, Lombarghini Piroil, etc.
1 galón americano (U.S.G.) = 3,78 Ltr.
CAPACIDAD: en Galones americanos por hora con gas-oil a 7 Kgr/cm2 temperatura 37,8ºC
CAPACIDAD DE TOBERA = ...U.S.G. x % de capacidad (1,2 a 1,6)
% de capacidad = depende de la presión, tipo de combustible y temperatura
Para H.O. ver tablas

Además **el tipo de atomización debe ser estudiado**, ya que si bien la **atomización a vapor es por lo general la que dá mejores y completas combustiones** (con F. Oíl pesado de difícil combustión), tendremos un consumo de vapor que también pesa en la Eficiencia, pero la atomización a vapor por lo general dá **menos períodos de parada para limpiezas,** tanto del quemador como del hollín en la caldera (lo cual mejora las condiciones de eficiencia).

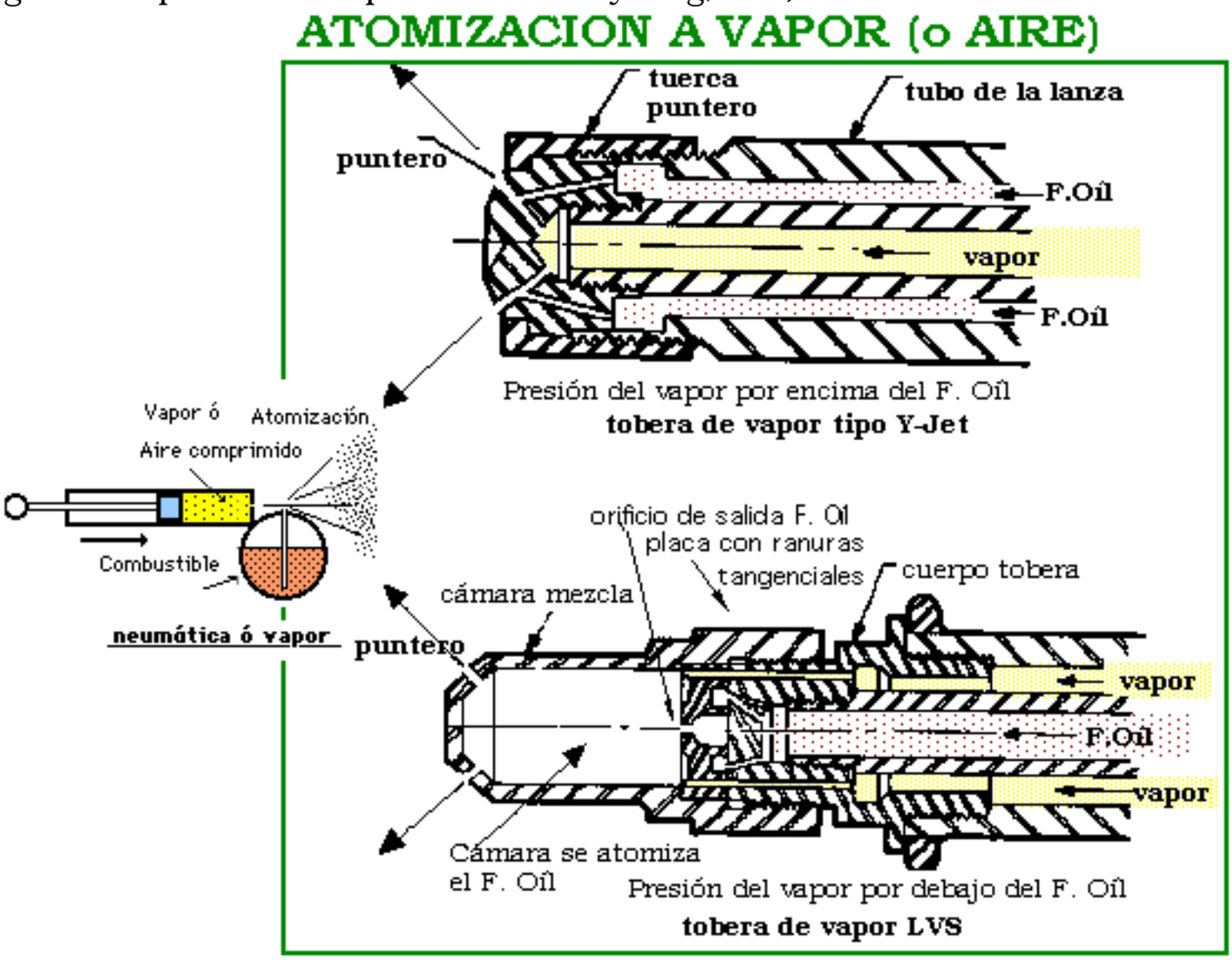
El **exceso de aire**, elemento importante a tener en cuenta, ya que la eficiencia varía en gran forma, produciendo **grandes pérdidas con los excesos de aire** no controlados, en la atomización a vapor puede ir desde un 30% de exceso en algún sistema antiguo hasta un 5% en los sistemas actuales.

Hay varios tipos de “punteros” o “lanzas” en la atomización a vapor, un sistema de bajo consumo de vapor, en el cual el vapor por lo general está por debajo de la presión del F. Oíl (el **LVS** en inglés), **el vapor a presión casi constante** (el F. Oíl pesado entra a una temperatura próximos a los 110ºC), se atomiza en una cámara de la lanza **como si fuera una tobera de atomización mecánica** (cuya presión varía por lo general entre 4 y 12 Kg/cm2, aunque los punteros exclusivamente mecánicos trabajan a mucha más presión dado que no tienen vapor o aire auxiliar de atomización), **luego el vapor entra en la circunferencia de la de la cámara y “barre” el F. Oíl atomizado**. Este sistema consume aprox. menos de 3% a un 6% de vapor que el consumo del F. Oíl consumido. Este tipo de lanza de atomización con asistencia de vapor, permite la utilización de **aire comprimido en vez de vapor**, lo que permite el arranque en frío de la caldera con aire y luego se le pasa a vapor.

El otro sistema, utiliza el vapor como elemento de atomización directa (**Y-Jet** en inglés)**,** es decir, **el vapor siempre se encontrará por encima de la presión del F. Oíl**, por medio de una válvula reguladora accionada por la presión variable del F.Oíl. Este vapor, por lógica, será de mayor consumo que la anterior, próximo o mayor al 5% (hasta un 10%) del caudal del F. Oíl consumido. **La gran ventaja de este sistema que es menos sensible a la temperatura del F. Oíl pesado, ya que se puede trabajar a temperaturas tan bajas como 85ºC, logrando una muy buena atomización.** En calderas humo-tubulares de gran porte, con combustibles pesados, por lo general dan mejor atomización, dando menos hollín en chimenea. **Este tipo de lanza es más problemática para el arranque en frío**, dado que **con aire no atomizan correctamente**, por lo que hay buscar una lanza de arranque en frío (o una que funcione con aire comprimido o una de atomización mecánica con el mismo combustible o un combustible más liviano como el Gas-Oíl que no se necesita calentar y se puede atomizar con poca presión en una lanza auxiliar, utilizando una bomba auxiliar).

Veamos algunos croquis de estas lanzas:

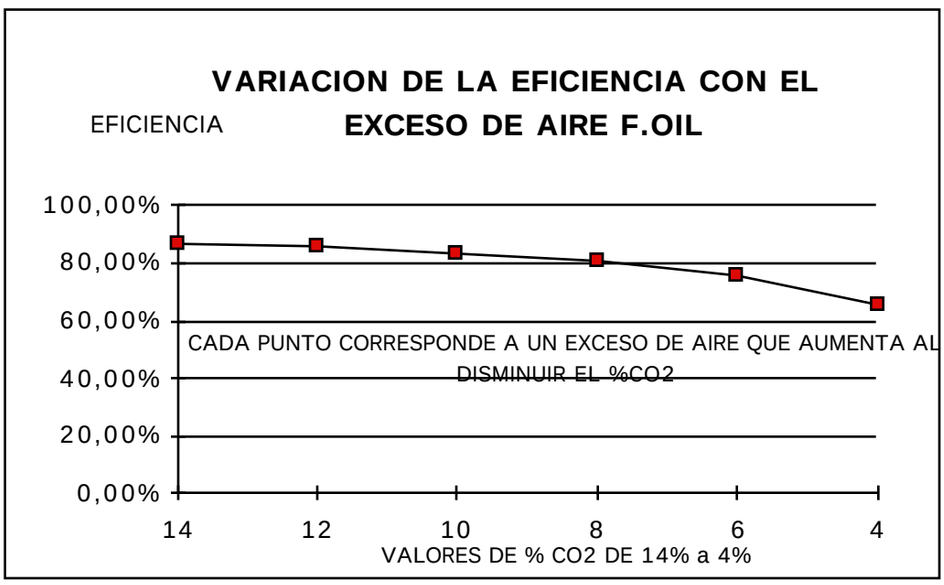
El puntero o lanza LVS de atomización a vapor (eventualmente aire), **la función del vapor es “arrastrar” el F. Oíl atomizado en una cámara** (en la cual se produce una simple atomización mecánica) **de manera que no es necesario que el vapor esté por encima de la presión del F. Oíl** (por lo general la presión del vapor está entre 2 y 3 Kg/cm2).



El puntero o lanza de atomización a vapor tipo Y-Jet, el vapor a mayor presión que el F. Oíl, “arrastra” al F. Oíl y lo atomiza directamente en la cámara de combustión. (el vapor por lo general está entre 1,5 a 2 Kg/cm2 por encima de la presión del F. Oíl, variando la presión del F.Oíl entre unos 3 a 12 Kg/cm2). Este sistema no funciona adecuadamente con aire comprimido.

Los quemadores con aire comprimido, son similares a los de vapor, pero debemos de considerar el consumo de aire y la energía o costo de producir ese aire comprimido

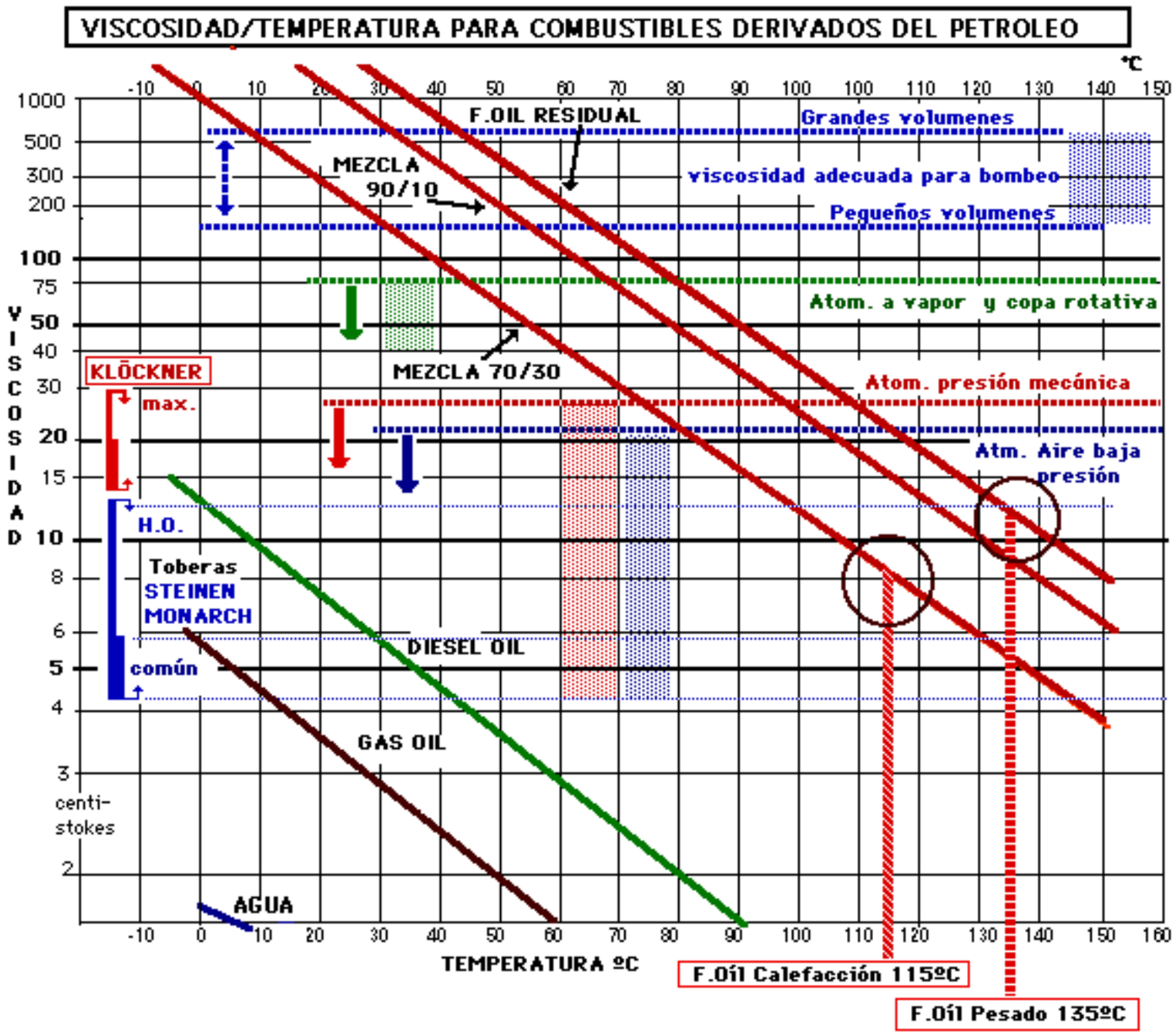
Como se ve en la **figura inferior**, el exceso de aire produce importantes pérdidas (ya que calentamos aire sin ser utilizado en la combustión, generalmente este exceso es necesario por la **mala atomización del combustible y su mala mezcla con el aire de combustión, lo que está indicando lo importante que son ambas cosas : atomización y mezcla** (si ambas son buenas el exceso de aire en F. Oíl pesado y calefacción no debería estar nunca sobre el 30% del aire mínimo necesario, que en F. Oíl es aprox. 13 a 14 Kg/Kg. de F. Oíl más el exceso necesario, no más de un 30% y actualmente menos del 10%, que por lo general está indicado por el CO2 % o el O2% en chimenea, según se mida uno o ambos).



La **atomización mecánica** (a presión) **es la más común**, tenemos que calentar el combustible a altas temperaturas para **bajar la viscosidad a valores adecuados** según el tipo de quemador (por lo general el F.Oíl pesado próximos a los **130ºC** o más, el F. Oíl calefacción unos **110ºC** o más, no siendo conveniente exagerar dichas temperaturas para compensar otras fallas del quemador, ya que un exceso temperatura puede provocar “cascarillas” en el calentador, ensuciando su superficie de transferencia o las mismas “cascarillas” gastando por abrasión las toberas o las cámaras de giro o torsión o lo que es peor, trancando algún sistema de seguridad como la válvula de alivio del calentador si la tuviese. La energía utilizada para la calefacción del F. Oíl por lo general se recupera en la suma con la energía de la combustión, pero al ser su calefacción con una energía más cara cuando es eléctrica, produce pérdidas económicas).

El problema de estos quemadores es el servicio más delicado que hay que darle para que su funcionamiento sea el correcto.

Modulo 5-COMBUSTIBLES Y SUS RELACIONES



Un llamado de atención : cuando se construyen placas con las cámaras de torsión o giro (cámara de turbulencia), que deben ajustar con la placa de la pastilla o tobera (por lo general, en quemadores clásicos), hay que tener cuidado con el metal que se utilice para su fabricación, ya que si bien se prueban con “azul de Prusia” para ver el ajuste de ambas caras es “parejo”, luego de esmerilar, **puede ser que si bien en frío el ajuste sea correcto, cuando el puntero o lanza esté en la caldera, si el material no es el adecuado, se puede deformar con la temperatura y el quemador atomiza mal.**

Por lo general **el metal utilizado debe ser refractario** o sea que soporte la temperatura sin deformación (como uno que tenga no menos de 18% de cromo, 8% de níquel, 0,25% de selenio o pueden ser otras aleaciones, que soporten la temperatura y la corrosión). Nos estamos refiriendo a la pastilla y la cámara de turbulencia de la figura inferior-izquierda.

Modulo 5-COMBUSTIBLES Y SUS RELACIONES

FUEL OIL PESADO (Nº6) ó RESIDUAL:

1-Debemos calentarlo para el bombeo entre 40ºC hasta 70ºC (máximo, la bomba no tira).

2-Para atomización a vapor calentarlo entre 80ºC y 100ºC (aire caliente también).

3-Para atomización con copa rotativa entre 75ºC y 85ºC (máximo, "patina" la copa).

4-Para atomización por presión mecánica entre 115ºC y 145ºC (según tipo quemador).

FUEL OIL CALEFACCION ó 70/30

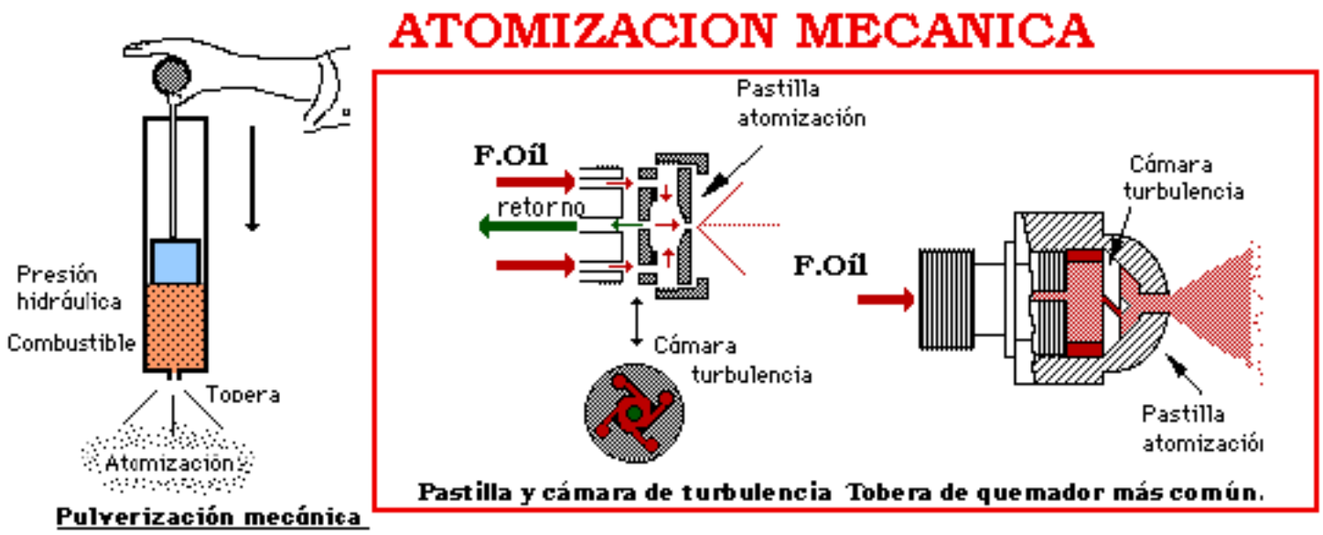
1-Debemos mantener para el bombeo a más de 10ºC (levemente calentarlo en invierno).

2-Para atomización a vapor calentarlo entre 60ºC y 80ºC (aire caliente también).

3-Para atomización por copa rotativa entre 40ºC y 60ºC (máximo,"patina" la copa).

4-Para atomización por presión mecánica entre 70ºC y 120ºC (según tipo quemador).

EL EXCESO DE TEMPERATURA EN LOS CALENTADORES ES PERJUDICIAL, SE FORMA CARBON O CASCARILLAS QUE ESTROPEAN BOMBAS Y TOBERAS DE ATOMIZACION.

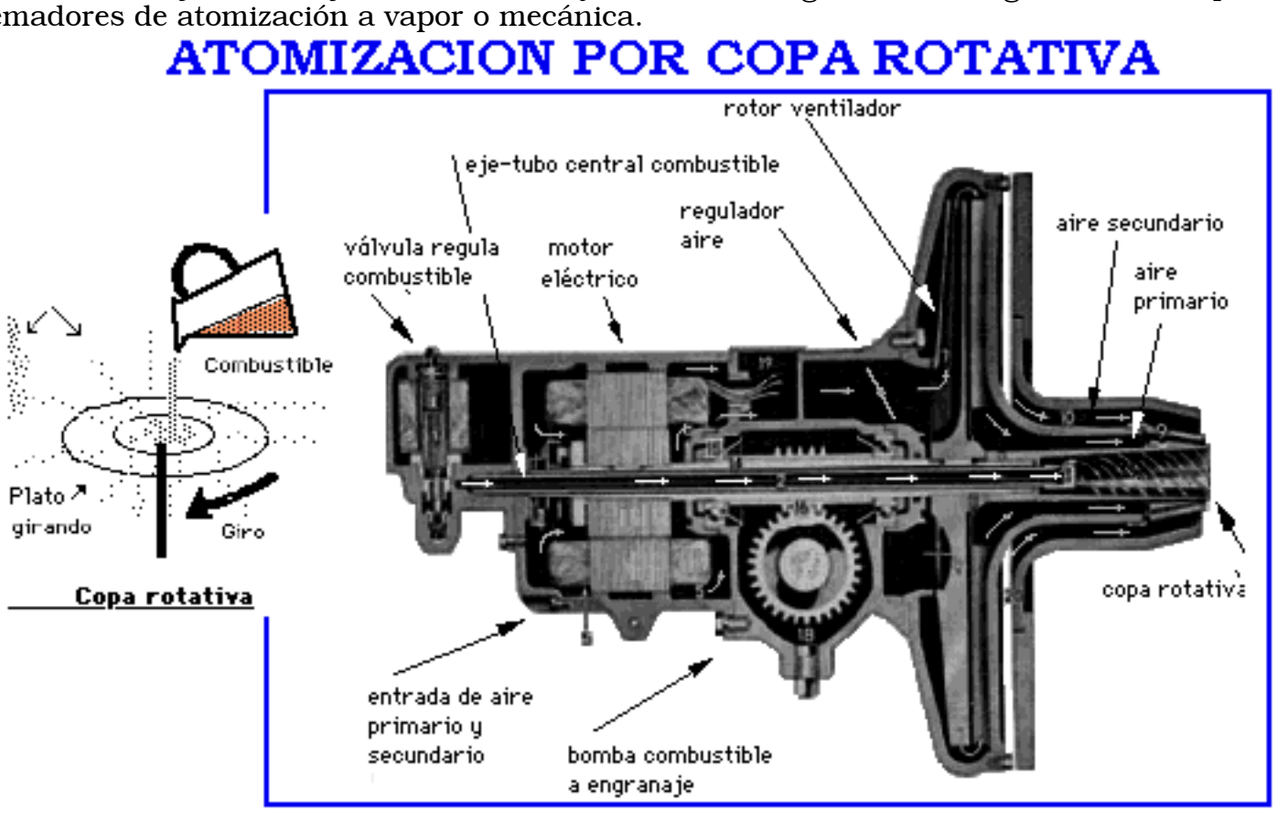


La **atomización por copa rotativa** es por lo general simple y no requiere gran tecnología si el hollín no es lo importante (que casi siempre lo es), pero, un quemador de buena combustión en copa rotativa requiere un muy buen diseño y lleva un mantenimiento más refinado, ya que el atomizador está sometido a altas revoluciones (problemas de vibraciones, balanceo, cojinetes, etc). Los hogares por lo general deberán tener una buena temperatura (refractarios).

El F.Oíl pesado debe trabajar a una temperatura menor que la de los quemadores a atomización mecánica, debido a que si la viscosidad es muy baja (alta temperatura), la copa girando no puede “agarrar” al combustible sobre la superficie interna, para hacerlo girar a altas revoluciones y salga finamente atomizado, para que el aire primario **lo empuje y lo disperse**, en este caso el F.Oíl entra como “resbalando”. La temperatura puede

estar, entre **90°C y 100°C en F. Oíl pesado**, siendo suficiente **entre 60°C y 70°C para F. Oíl calefacción.**

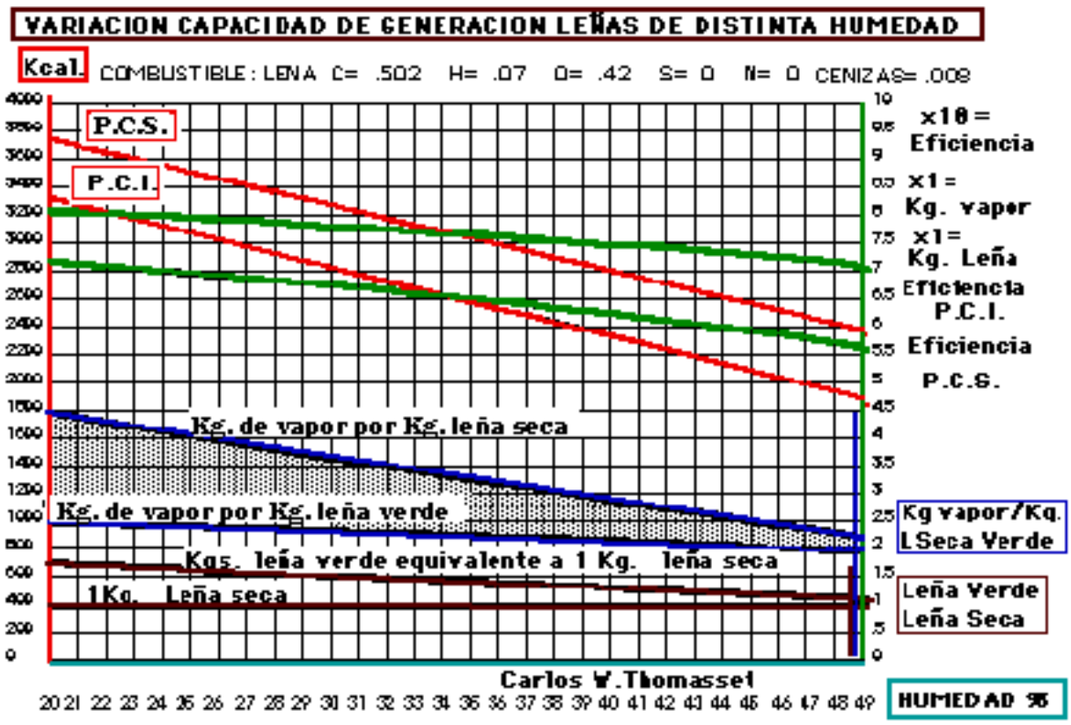
En la actualidad han surgido marcas conocidas, que han logrado que este tipo de quemador trabajen con bajo exceso de aire y hollín. Por lo general son algo más caros que los quemadores de atomización a vapor o mecánica.



En F. Oíl, el control necesario para la combustión se puede hacer en forma visual, cosa que es relativamente insegura, siendo mejor el control si nos apoyamos con instrumentos.

En la combustión de leña (eucaliptos), debemos considerar el sistema de combustión, gasógeno o quema directa, y la humedad de la leña (también las condiciones de preparación de la leña (la putrefacción, el envejecimiento, etc.), ya que el comportamiento del sistema de combustión estará relacionado a las condiciones del combustible, como todos los tipos de quemadores.

Modulo 5-COMBUSTIBLES Y SUS RELACIONES


VARIACION CAPACIDAD DE GENERACION LEÑAS DE DISTINTA HUMEDAD
Kcal.
COMBUSTIBLE: LENA C= .502 H= .07 O= .42 S= 0 N= 0 CENIZAS= .008
P.C.S.
P.C.I.
x10 = Eficiencia
x1 = Kg. vapor
x1 = Kg. Leña
Eficiencia P.C.I.
Eficiencia P.C.S.
Kg. de vapor por Kg. leña seca
Kg. de vapor por Kg. leña verde
Kgs. leña verde equivalente a 1 Kg. leña seca
1Kg. Leña seca
Kg vapor/Kg. LSeca Verde
Leña Verde Leña Seca
Carlos W.Thomasset
HUMEDAD %

En el ahorro de combustible como la leña, tenemos las pérdidas por la humedad, pero además tenemos las pérdidas en las “canchas” de secado (es el aire el que seca la leña y hay que lograrlo en el menor tiempo posible, ya que se producen putrefacciones, ataques de hongos, bacterias, insectos y el desprendimiento de volátiles, etc. que consumen energía que podríamos disponer, que se pierde y que queda “oculta” ya que por lo general no se cuantifica, solamente si se toma el comparativo de la leña verde que se estaciona y la que luego se consume en la combustión, cosa que por lo general no se hace, ya que en la combustión entran las otras pérdidas por humedad, mala combustión, exceso de aire, etc.).

En un buen estacionamiento de secado de la leña (rolos de eucaliptos) este tipo de pérdidas de estacionamiento, puede ser tan grande, hasta más del 20%.

Rolos cortos o astillones bien estibados para secar

Rolos cortos o astillones mal estibados para secar.